

五指山市南圣河综合治理工程生态护坡研究

沈 印

[上海市市政工程设计研究总院(集团)有限公司, 上海市 200092]

摘 要: 随着生态和谐理念不断深入人心,堤防设计不仅要保证边坡能经受水流冲刷,还要尽可能地提升护坡的生态性与景观性。结合五指山市南圣河综合治理工程,充分考虑山区河道量大流急的特性,利用三维水土保护毯及固化海绵土各自的优势,开创性的将两者组合使用,通过现场抗冲刷试验,进一步验证了组合方案的抗冲刷性能,不仅能资源化利用清淤土方,还能在保证边坡抗冲刷的情况下最大化提升河道的生态性和景观性,为山区河道生态治理提供参考。

关键词: 生态护坡;冲刷;海绵土;三维保护毯

中图分类号: TV867

文献标志码: B

文章编号: 1009-7716(2025)08-0201-04

Research on Ecological Slope Protection of Nansheng River Comprehensive Management Project in Wuzhishan City

SHEN Yin

[Shanghai Municipal Engineering Design Institute (Group) Co., Ltd., 200092 Shanghai, China]

Abstract: With the continuous deepening of ecological harmony concepts, the embankment design should not only ensure that slopes can withstand water erosion, but also strive to enhance the ecological and landscape characteristics of slope protection as much as possible. Combined with Wuzhishan Nansheng River Comprehensive Management Project, the characteristics of large volume, large flow and rapid flow of mountain rivers are fully considered. And the advantages of three-dimensional soil and water protection blanket and solidified sponge soil are utilized to innovatively combine the two. Through on-site anti-erosion tests, the anti-erosion performance of the combined scheme is further verified, which not only enables the resource utilization of dredged soil, but also maximizes the ecological and landscape features of the river while ensuring the erosion resistance of the slope, which provides a reference for ecological management of mountain rivers.

Keywords: ecological slope protection; erosion; sponge soil; three-dimensional protective blanket

0 引 言

河道边坡作为河流自然系统不可或缺的一部分,扮演着从河道水流至陆地过渡的关键角色,其不仅能够有效防止江河湖泊遭受水流的侵蚀,而且还是水陆之间生态交换的重要媒介。近年来,在平原河道及城市内河中,由于河底平缓、水流冲刷较小等因素,生态型护坡在生态修复及治理工程中应用广泛,并形成生态护坡结构型式、生态护坡材料、植物配置等多个研究领域^[1]。但在纵坡较陡、流速较大的山区性河道仍较多采用硬质护坡材料。五指山市南圣河属于山区性河道,具有坡降大、汛期汇水历

时短、洪峰流量大、水流流速快等特点,往往会产生较大的水土流失。在传统的河道整治工程中,人们往往更侧重于防洪功能的提升、增强岸坡的抗冲刷能力以及确保其耐久性,因此大量使用了混凝土等硬质材料。然而,这种做法破坏了生物多样性,对河流及其河岸生态系统的健康造成了不良影响。在提倡人与自然和谐相处的今天,河流生态问题备受关注^[2]。随着新技术新材料的不断发展,如何合理有效地利用新技术新材料,来提高高流速山区河道护坡的生态性,最大程度地恢复青山绿水,是一个十分重要且紧迫的研究内容。

陈高臣^[3]从利用层次分析法构建了河道生态护坡技术的综合评价体系。陈泽云^[4]对生态砌块、生态混凝土及水土保护毯3种护坡方案进行了综合评价。黎宇浩^[5]以具体项目为例,采用了自锁式预制

收稿日期: 2024-12-26

作者简介: 沈印(1987-),男,硕士,高级工程师,从事市政水利设计研究工作。

砌块与格宾生态挡墙护岸,保证了河道生态及水流通畅。石坤^[6]通过计算分析了阶梯式生态框护坡的性能优势。陈小可^[7]以具体河道工程为例,说明了以狗牙根作为袋生植物的生态袋护坡具有稳定性及经济性。王志慧^[8]介绍了生态护坡设计的原理和评估方法,讨论了生态护坡的优势和局限性。

1 工程概况

该项目主要工程内容包括河道生态修复工程、滨河雨林风貌提升工程、河道配套工程等3部分,工程主要功能为生态修复和防洪。保护对象为五指山市南圣河河道沿线及中心城区,保护人口约11万人,其工程等别确定为IV等。治理河段全长17.017 km,其中,通什水(南圣河)治理长度16.107 km,阿陀岭溪治理长度0.64 km,太平溪治理长度0.27 km。工程设计内容包括河道生态修复工程、滨河雨林风貌提升工程和河道配套工程3大部分。河道生态修复工程:河滩基底重塑16.118 km,河岸生态缓冲带的、河滩生境修复的设计总面积约59.09 hm²。新建生态蓄水建筑物共计23座。滨河雨林风貌提升工程:建设滨水活动场地面积2 800 m²,更新河滨栏33.9 km,更新植物种植池约4.7 km,同时设计多种类型的室外家具。新建滨水步道约3.48 km²新建架空栈道及平台面积约3 500 m²,现状步道面层更新约40 100 m²,河道配套工程,拆除橡胶坝1座,新建合页坝闸1座改建水闸1座。改造驳岸约2.89 km。

2 生态护坡设计

根据工程现场实际踏勘情况,南圣河有很多河段为硬质护坡,绿化效果一般,生态性较差,与南圣河生态河道的定位不相符,需对硬质驳岸进行驳岸生态化改造(见图1)。



图1 现状护岸为硬质护坡

目前常用的生态护坡材料主要有格宾石笼护坡、铰接式混凝土块护坡、生态混凝土护坡等半柔性材料,可有效适应地基沉降,且有一定的空隙,可实

现河道和岸坡之间进行的水体交换,护岸结构的孔隙或间隙内能够生长植物,绿化效果较好,但与五指山的热带雨林风貌及本项目对自然原生态理念的追求仍有一定差距。近年来还出现了三维水土保持毯、固化海绵土等柔性护坡结构。三维水土保持毯护坡是由一种高强度的聚酰胺单丝纤维材料缠绕编织而成,具有强度高、耐老化等优点。将其铺设在土坡上,在保护毯表面覆种植土,并在上部种植绿化植物,植物生长完全后根系会和保护毯缠绕在一起^[9],最终裹夹土体形成一层稳固的三维生态加筋体系,从而达到较好抗冲刷效果^[10]。固化海绵土可利用河道清淤土壤,加入河道原位生态修复(ISER)改良处理材料,优化其理化性能,并将其覆盖于边坡表面抵抗水流侵蚀,最终达到资源化使用的目的。实现河道挖方改良、处置和工程资源化的最佳效果。

这2种柔性护坡材料可与岸坡土体形成有机整体,促进植物生长,有效防止水流冲刷,生态效果及景观效果均较好,但柔性护坡材料在单独使用情况下的抗冲流速均无法满足本项目最大流速5 m/s的设计要求,因此在设计过程中创新地提出了采用两种柔性材料组合的护坡型式。即拆除现状硬质护坡后首先覆盖一层20 cm厚的ISER I型海绵土,然后铺设一层透空型三维水土保持毯,最后再覆盖一层10 cm厚的ISER I型海绵土,并于其上种植本土植被。一方面可利用海绵土自身的强度,另一方面利用植物根系与水土保持毯的相互缠绕进一步提升了海绵土的整体性,从而发挥出两种材料的优良性能,进一步提高材料的抗冲刷能力,使其满足该项目的设计要求。硬质护坡生态化改造断面如图2所示。

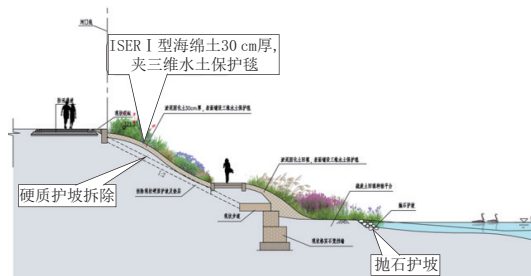


图2 驳岸生态化改造断面

3 现场抗冲刷试验

由于本次生态护坡型式为创新设计,为增加设计可靠性,在设计阶段增加了现场试验的要求。试验依据水力学计算原理和植被生态护坡设计准则,采用高速射流模拟洪水对不同护坡方案实验区段进

行抗冲刷实验,通过实验论证各方案的边坡抗冲刷能力。

本次试验选取测试位置安放测试箱,测试箱为半封闭箱体,有顶无底并固定于坡面,通过水泵将水抽至冲刷测试水箱内,通过控制阀门调整下泄流量,并使水流充满测试箱内。通过冲刷前后的对比观察,分析不同护坡方案 and 不同护坡植被的防护能力,具体冲刷破坏分级情况与推荐使用等级情况如表 1 所列。

表 1 冲刷破坏程度划分表

冲刷等级	植被根系裸露特征	坡面侵蚀特征	推荐使用等级
基本完好 (0%)	根茎附近有极少量土壤流失痕迹,但植被的根系基本上没有裸露,或者裸露不明显	坡面有轻微冲刷痕迹,呈细纹状,深度多不超过 1 cm,泥沙流失量很小,坡面整体基本没有太大变化	优先推荐使用
轻微破坏 (0%~20%)	表层土壤(0~2 cm)被冲走根茎垂直主部位裸露长度达 2~4 cm	坡面有部分区域的沟槽(冲坑)痕迹,大多在根主茎附近,呈长条状,泥沙流失量在深度多在 1~4 cm	优先推荐使用
中度破坏 (20%~50%)	大量块状或团状根土结构被冲走,可明显看到主根侧根,根系垂直裸露长度在基本 4~6 cm,水平扩口(根部周围冲刷范围)较大	坡面大片区域出现的沟槽(冲坑)痕迹,呈放射状和深度多在 4~8 cm,泥沙流失量在小部分区域沟壑出现扩散趋势	备用推荐使用
严重破坏 (50%~80%)	大部分草根系裸露,植物根茎连同根部贴在边坡,根系垂直裸露长度达到 6~8 cm	坡面有明显的深沟,呈四边形状,部分土体开始塌陷,深度多在 8~10 cm 且范围较大,坡面凹凸不平十分明显	否(不推荐使用)
完全破坏 (100%)	根位基本完全裸露,根系与土壤完全分离,整体顺坡及水流移动	坡面深沟相互连通,形成交错互连的冲坑,深度多在 10~12 cm 以上	否(不推荐使用)

本次实验的装置系统示意图如图 3 所示,包括水泵(总流量大于 0.1 m³/s)、连接的管线及阀门(管径 5 cm)、流量控制开关阀门、有压测试箱(B×H×L=0.2 m×0.2 m×1 m)、旋桨测速仪、水箱固定装置等。

到所需流速。现场调试过程如图 4 所示。冲刷实验水箱内部平均流速为 5.21 m/s(为 3 次测试的平均值,3 次测试的结果分别为 5.42、4.71、5.51 m/s)。

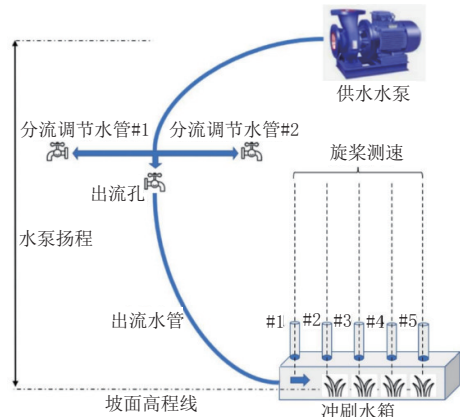


图 3 实验装置系统示意图

选择项目治理河道一处具有开阔河滩的位置进行本次实验,选取与设计护坡高程基本一致的位置处,将冲刷水槽通过铆钉和螺丝打入土体中,使其牢牢固定在坡面。连接所需出水管与分流调节水管,分流调节水管出流处放置于河道内,出水管与冲刷水槽连接;启动供水水泵,开始向出水管供水,直至基本达到稳态时,采用旋桨流速仪测试出水管流速;如果得出流速大于所需流速,则通过适当打开分流调节水管的阀门来降低冲刷水箱内流速,并将分流调节水管出流口放置河道内避免影响边坡植被;如果得出流速小于所需流速,则需要采用扬程或者取水流量更大的水泵,进而增大出流流速,以达



图 4 现场流速调试

试验所采用的护坡植被应优先选择当地长势较好,生态性及景观性较佳的植被。经过初步筛选,共拟定大叶油草、变叶木、狐尾天门冬、花叶芦竹、黄鸟蕉、翠芦莉、常绿水生鸢尾、风车草、水菖蒲、再力花、美人蕉共计 11 种。

本次分别拟定仅三维水土保持毯、仅固化海绵土及 2 种材料组合的 3 种不同护坡形式进行冲刷实验,每种护坡形式段至少选取 2 种植物进行实验,采用顺河方向布置冲刷水箱,以保证更接近真实洪水冲刷情况。每组实验在稳定流速下持续冲刷 2 h。各护坡方案下每种植被在 5 m/s 的水流冲刷下所造成的冲刷破坏情况如图 5 至图 7 所示。从实验结果可以看出,仅使用三维水土保持毯护坡的方案在高流速冲刷情况下,无植被护坡的冲刷破坏等级达到了严重破坏程度(80%)。其次,变叶木、黄鸟蕉、翠

芦莉、常绿水生鸢尾4种植被护坡的冲刷破坏等级达到了中度破坏等级(50%)。大叶油草、狐尾天门冬、风车草、花叶芦竹4种植被护坡的冲刷破坏等级为轻微破坏等级(20%)。仅使用固化海绵土的方案在高流速冲刷情况下,无植被护坡的冲刷破坏等级达到了严重破坏程度(80%)。其次,变叶木、狐尾天门冬、常绿水生鸢尾3种植被护坡的冲刷破坏等级达到了中度破坏等级(50%)。大叶油草、黄鸟蕉、翠芦莉、风车草、花叶芦竹5种植被护坡的冲刷破坏等级为轻微破坏等级(20%)。而采用两种材料的组合方案后可以明显提高坡面抗冲刷效果,在持续2 h的高流速水流冲刷下,无论种植何种植被均能保证坡面的破坏等级为轻微。

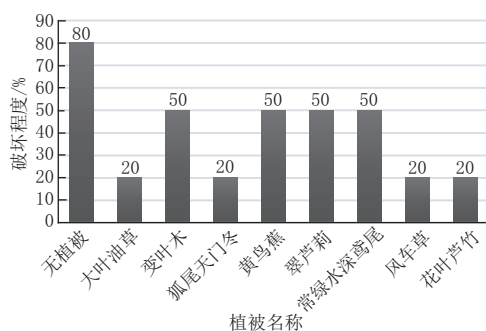


图5 仅使用三维保护毯冲刷破坏情况

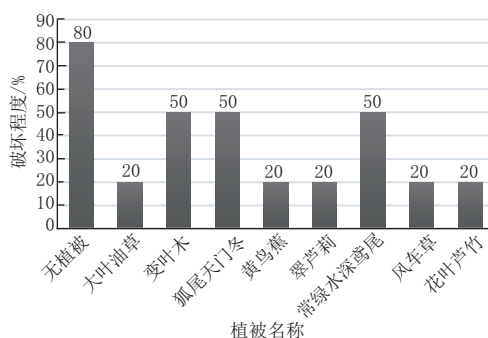


图6 仅使用海绵土冲刷破坏情况

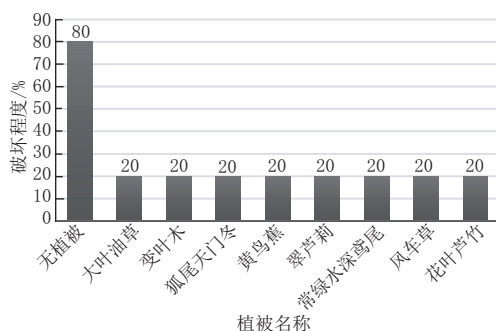


图7 使用两种材料组合破坏情况

4 结 论

随着生态和谐理念不断深入人心,堤防设计不仅要保证边坡能经受水流冲刷,还要尽可能地提升护坡的生态性与景观性。本文结合五指山市南圣河综合治理工程,充分考虑到山区河道量大流急的特性,同时充分利用三维水土保持毯及固化海绵土各自的优势,开创性地将两者组合使用,以进一步提高坡面的抗冲刷性能。

为保证护坡方案安全有效,在项目实施前进行了现场抗冲刷试验。分别对仅使用三维保护毯、仅使用固化海绵土和两者组合使用三个方案进行多种植被下的抗冲刷试验后得出,本文采用的两者组合方案能明显提高坡面抗冲刷效果,在持续2 h的高流速水流冲刷下,无论种植何种植被均能保证坡面的破坏等级为轻微。

综上,本文提出的采用固化海绵土夹三维水土保持毯的生态护坡方案,不仅能资源化利用清淤土方,还能在保证边坡抗冲刷的情况下最大化提升河道的生态性和景观性,为山区河道生态治理提供参考。

参考文献:

- [1] 吴坤坤,杨嘉为.山区河道生态护岸设计[J].东北水利水电,2022,40(5):1-3;71.
- [2] 关春曼,张桂荣,赵波,等.城市河流生态修复研究进展与护岸新技术[J].人民黄河,2014,36(10):77-80.
- [3] 陈高臣.河道治理工程中生态护坡方案比选研究[J].中国水运,2024(23):70-72.
- [4] 陈泽云.河道整治项目中的生态护坡设计方案研究[J].水利科学与寒区工程,2024,7(11):54-57.
- [5] 黎宇浩.综合生态护坡技术在河道岸坡整治中的应用[J].水利科学与寒区工程,2024,7(10):128-131.
- [6] 石坤.阶梯式生态框护坡在城市防洪河道生态改造中的应用[J].珠江水运,2024(18):103-105.
- [7] 陈小可.生态袋护坡对河道边坡稳定影响的研究[J].水科学与工程,2024(4):61-64.
- [8] 王志慧.生态护坡在水利工程中的应用研究[J].内蒙古水利,2024(7):57-58.
- [9] 柴先墩.层次分析法在某工程生态护坡选型研究中的应用[J].城市道桥与防洪,2021(9):116-118;142.
- [10] 林丹丹.城市更新下的涉水河道防洪截污水综合整治研究[J].水利科学与寒区工程,2024,7(9):129-132.